

# La Comunidad Ornítica estival en un sistema agroforestal del Norte de Marruecos: Análisis preliminar a escala del paisaje

V. Peiró<sup>1</sup> y A. Molina<sup>2</sup>

## RESUMEN

Este trabajo presenta el análisis de los descriptores de la comunidad ornítica en un sistema agroforestal del norte de Marruecos y su relación con la heterogeneidad del paisaje analizada a diferentes escalas (elementos y unidades del paisaje). Las aves se han censado mediante itinerarios homogéneos y heterogéneos en su composición de los elementos del territorio. La comunidad ornítica presenta una abundancia total de 60,4 aves/km., con 52 especies, una diversidad de 3,7, una equitatividad de 0,7 y una dominancia del 47,8 %. Esta alta abundancia está determinada por el gregarismo de las especies dominantes. Las mayores riqueza y diversidad aparecen en el corredor de vegetación riparia. La heterogeneidad vertical (número de estratos) de los elementos del paisaje está relacionada con la riqueza, la diversidad y la dominancia en los itinerarios homogéneos, pero dicha heterogeneidad no se muestra explicativa de estos descriptores orníticos cuando también es considerada la heterogeneidad horizontal (número de elementos del territorio). Los elementos del paisaje con homogeneidad horizontal y representativos de ecosistemas más maduros presentan los mayores valores de riqueza y diversidad orníticas. Respecto a las unidades del paisaje, los mayores valores de abundancia y dominancia de aves aparecen en la unidad de cereal y las mayores riqueza y diversidad en la unidad de olivar. Ninguno de los descriptores orníticos está relacionado significativamente con las heterogeneidades horizontal y vertical de las unidades del paisaje.

**PALABRAS CLAVE:** Comunidad ornítica, Itinerarios de censo, Elementos del territorio, Unidades del paisaje, Heterogeneidad espacial, Norte de Marruecos.

## SUMMARY

Avian community in relation to two levels of landscape heterogeneity was analysed in an agroforestry system in Northern Morocco. We have used the line transect census for analysing avian community parameters and these transects were grouped into homogeneous or heterogeneous land element composition. The overall avian abundance is 61.4 birds/km, with 52 species, a diversity of 3.7, an evenness of 0.7 and a dominance index of 47.8 %. The gregarious and dominant species account this high abundance. The avian richness and diversity are higher in the riparian corridor. The vertical heterogeneity (number of land layers) is related to richness, diversity and dominance of birds, but the horizontal heterogeneity (number of land elements) is not explicative of these avian parameters. The horizontal homogeneous elements that represent the more mature ecosystems have higher avian richness and diversity. The highest dominance is in cereal landscape unit and the highest richness and diversity are in olive one. The avian parameters are not correlated with horizontal and vertical heterogeneities at landscape unit level.

**KEYWORDS:** Avian community, Line transect census, Land elements, Landscape units, Spatial heterogeneity, Northern Morocco.

## INTRODUCCIÓN

Conocer y predecir las consecuencias de estrategias alternativas en la gestión del territorio son aspectos críticos si se desea desarrollar políticas sostenibles sobre la gestión de los recursos naturales. Dicha gestión adquiere un mayor nivel de complejidad a medida que la población humana aumenta en países en vías de desarrollo, como Marruecos, con una demanda creciente por el uso de los limitados recursos naturales renovables, compitiendo por ellos con otros animales.

Un postulado general en ecología del paisaje es que el grado de heterogeneidad espacial de un paisaje es uno de los factores determinantes de la estructura y funcionamiento de las poblaciones y comunidades animales (FORMAN y GODRON, 1986; DOBROWOLSKI *et al.*, 1993). Así, la relación entre la estructura de la vegetación y la organización de una comunidad animal ha sido objeto de múltiples estudios. Esto es debido a que los hábitats más complejos ofrecen un mayor número de nichos potenciales y por lo tanto deberían albergar una mayor variedad de especies (MACARTHUR *et al.*, 1962). La relación positiva entre complejidad vertical (ej. número de estratos) intra-hábitat y diversidad de especies ha sido observada frecuentemente (MACARTHUR y MACARTHUR, 1961; KARR y ROTH, 1971; AUGUST, 1983). Sin embargo, la complejidad vertical no ha sido siempre la causa explicativa de la riqueza específica animal. El grado de parcelación (*patchiness*) horizontal inter-hábitat influye también sobre los patrones de riqueza específica (WIENS *et al.*, 1987; GERELL, 1988, KOTLIAR y WIENS, 1990).

Las comunidades orníticas son uno de los grupos faunísticos prioritarios en el estudio sobre el mantenimiento de la biodiversidad compatible con la gestión sostenible del paisaje, y de los ecosistemas y recursos naturales reno-

(1) Dept. de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante, 03080-Alicante (España).

(2) Dept. de Biologie, Faculté de Sciences, Université de Tétouan, Tétouan (Maroc).

vables que lo constituyen. La elección de las aves en el estudio de dicha temática se fundamenta en su importante papel como indicadores del valor ecológico de los ecosistemas y el paisaje. La utilización de las aves como indicadores ecológicos de los cambios en la estructura y función de los paisajes rurales se debe a que ellas son extremadamente sensibles a cambios de la estructura ambiental (FARINA, 1986; FARINA y MERCHINI, 1986). Además, las aves presentan una alta detectabilidad (ritmos de actividad principalmente diurnos, con abundantes señales visuales y sonoras y alta movilidad), lo que permite utilizar técnicas de muestreo (censos) relativamente menos costosas en esfuerzo, tiempo y presupuesto económico (TELLERIA, 1986).

Los objetivos, y las hipótesis generales a contrastar, de este trabajo son las siguientes:

1. Análisis de los descriptores principales de la comunidad ornítica (abundancia, riqueza, diversidad, equitabilidad y dominancia) en el conjunto del área de estudio.
2. Análisis comparativo de dichos descriptores entre unidades del territorio homogéneas y heterogéneas según su composición de los elementos del paisaje. Dos hipótesis se pretenden comprobar:

2.1. Las unidades con heterogeneidad espacial horizontal presentan comunidades de aves más ricas y diversas que las unidades homogéneas.

2.2. Las unidades homogéneas representativas de ecosistemas más complejos y maduros presentan comunidades más ricas que aquellas con ecosistemas más degradados.

3. Análisis de los descriptores orníticos en unidades del paisaje. La hipótesis inicial es que la heterogeneidad espacial favorece el aumento de los descriptores orníticos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

La zona de estudio está localizada en la península Tingitana (Norte de Marruecos), en el sistema montañoso del Rif y concretamente en los alrededores de la ciudad de Chaouen (35° 00'-35° 25' N; 05° 00'-05° 30' W). El área, con una superficie de 42.280 ha., está constituida por una cuenca con materiales calcáreos y silíceos en las partes altas de las vertientes Este u Oeste, respectivamente, y en las partes bajas dominan las margas y los depósitos aluviales. La zona constituye un sistema con usos agrícola, ganadero y forestal. Las características generales del medio físico (clima, meteorología, topografía, geología, hidrografía, vegetación natural y cultivos), así como los usos del territorio, están representados en TAIQUI (1997).

Los elementos del paisaje considerados para el estudio de la avifauna se corresponden con los usos del territorio-vegetación y se han clasificado en las siguientes

categorías: masas forestales de quercíneas, principalmente de alcornoque (*Quercus suber*), masas de repoblación de coníferas con *Pinus radiata* o con *Pinus halepensis*, matorrales (alto y bajo según estado de degradación), cultivos cerealistas, olivares (*Olea europaea*), cultivos tradicionales de huerta (arbóreos y herbáceos con irrigación), cultivos herbáceos y pastizal húmedo en embalse, vegetación riparia (río), medio urbano (ciudad de Chaouen) y acantilados rocosos.

### Métodos

La fragmentación del paisaje en la cuenca de Chaouen, como ocurre en muchos agroecosistemas mediterráneos (BUNCE *et al.*, 1993), nos obliga a estudiar la comunidad de aves en un área amplia que contenga los principales tipos de mosaicos de usos del territorio según el enfoque propuesto en la ecología del paisaje (FORMAN y GODRON, 1986; FARINA, 1990; HANSON *et al.*, 1995). La comunidad de aves ha sido analizada mediante 17 itinerarios de censo (FERRY y FROCHOT, 1958; TELLERIA, 1986) de 1 km de longitud cada uno y recorridos a pie una sola vez al final del verano (9 a 17 de septiembre) de 1994. El número y distribución espacial de los itinerarios se determinó en base al tipo y distribución de los usos del territorio, mediante la utilización de fotogramas aéreos y cartografía, y de forma que estuvieran representados la mayoría de los patrones generales de distribución espacial de éstos. Se consideró como itinerarios homogéneos a los localizados en áreas relativamente grandes de un sólo tipo de uso y como itinerarios heterogéneos a los situados en áreas con manchas (*patch*) de dos o más de dichos usos. El número de itinerarios obtenidos fue de 8 homogéneos y 9 heterogéneos (ver tabla 1). Uno de los itinerarios homogéneos (I17) fue localizado en un río con vegetación riparia, representativo del tipo de corredor más importante en el área de estudio. Las áreas de matorral no poseen suficiente extensión en la zona, por lo que no ha sido posible definir itinerarios homogéneos en ellas. Todos los itinerarios fueron localizados sobre fotograma aéreo.

El análisis posterior de la distribución espacial de los tipos de usos del territorio-vegetación y de las características geomorfológicas y litológicas ha permitido agrupar los itinerarios en cuatro unidades del paisaje (alcornocal, olivar, cereal y pantano). Estas unidades han sido definidas (TAIQUI, com.pers.) en base a una caracterización cualitativa de la matriz del paisaje según los criterios presentados en FORMAN y GODRON (1986).

La matriz de la unidad de alcornocal viene definida por el predominio de las formaciones forestales de *Quercus suber* y está localizada en laderas de exposición dominante Este con areniscas y margas. La unidad de oli-

Itinerarios	NUT	NEV	Tipos de usos del territorio-vegetación
Homogéneos			
I1	1	4	Alcornocal ( <i>Quercus suber</i> )
I2	1	3	Pinar de repoblación de <i>Pinus radiata</i>
I3	1	2	Medio urbano (Ciudad de Chaouen)
I4	1	4	Huerta tradicional
I5	1	2	Cultivo cerealista
I6	1	3	Olivar
I14	1	3	Pinar de repoblación de <i>Pinus halepensis</i>
I17	1	6	Vegetación riparia (río)
Heterogéneos:			
I7	3	4	Cereal, huerta tradicional y matorral bajo
I8	3	2	Matorral alto, matorral bajo y cereal
I9	3	3	Matorral (alto y bajo), cereal y roquedo
I10	2	2	Cereal y olivar
I11	2	3	Cereal y matorral bajo
I12	3	4	Alcornocal, matorral alto y pastizal
I13	3	4	Huerta tradicional, cereal y olivar
I15	3	3	Matorral alto, pinar de <i>P. radiata</i> , y olivar
I16	2	2	Pastizal húmedo y huerta de embalse

Tabla 1. Descripción de los itinerarios de censo de la avifauna según la estructuración espacial de los usos del territorio-vegetación.

var está definida por la dominancia de los cultivos de *Olea europaea*, se sitúa en laderas de exposición dominante Oeste y en fondo de valle, con calizas y margas, y en ésta se incluye en único núcleo urbano importante (ciudad de Chaouen). La unidad de cereal está dominada por cultivos cerealistas extensivos localizados en laderas, colinas y fondo de valle de la parte Norte de la cuenca y con litología dominada por margas. La unidad de pantano está constituida por un embalse (Ali Thelat) prácticamente colmatado, con cultivos de huerta y pastizales húmedos en los depósitos aluviales del fondo del valle, y por las laderas circundantes, de exposición variable, con calizas dolomíticas formando acantilados rocosos en la parte superior y con depósitos cuaternarios en el resto de la ladera.

Para el análisis de la comunidad ornítica se ha utilizado el índice kilométrico de abundancia (IKA=aves/km.), la riqueza específica (número de especies), la diversidad según la fórmula de SHANNON (SHANNON y WEAVER, 1949, H' en bits), la equitabilidad (J') según la fórmula presentada por PIELOU (1975) y el índice de dominancia (ID) propuesto por MCNAUGTON y WOLF (1970). Estos parámetros han sido calculados por itinerarios, por unidades del paisaje y para el total del área de estudio.

Una limitación metodológica a nuestro análisis concierne a que los censos de la comunidad estival han sido realizados a finales del verano, a diferencia de otros estudios que se centran en la época reproductora (primavera-principios de verano), con lo que hemos podido considerar especies en fase de dispersión postnupcial o en migración y que no se reproducen en el área de estudio. El tamaño de muestra (número de itinerarios) puede haber acarreado problemas de exclusión de especies reproductoras poco abundantes, por lo que en un futuro sería recomendable aumentar el tamaño de muestra mediante la repetición de censos. Por lo tanto, este artículo no pretende determinar la totalidad de la comunidad ornítica, sino su composición parcial en base a un esfuerzo de muestreo homogéneo, que permita el análisis comparativo entre las diferentes unidades del territorio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de la Comunidad Ornítica en la Cuenca de Chaouen

La tabla 2 presenta las especies de aves y sus abundancias en el conjunto de la cuenca de Chaouen. La comunidad ornítica presenta una abundancia total de 60,35 aves/km. y está compuesta por 52 especies (riqueza), con

Especie	nº individuos	IKA (indiv/km)
<i>Circaetus gallicus</i>	2	0,12
<i>Hieraetus pennatus</i>	1	0,06
<i>Buteo buteo</i>	3	0,18
<i>Circus aeruginosus</i>	1	0,06
<i>Circus cyaneus</i>	1	0,06
<i>Accipiter gentilis</i>	2	0,12
<i>Milvus migrans</i>	2	0,12
<i>Falco peregrinus</i>	2	0,12
<i>Falco tinnunculus</i>	2	0,12
<i>Bubulcus ibis</i>	182	10,71
<i>Egretta garzetta</i>	1	0,06
<i>Charadrius dubius</i>	1	0,06
<i>Alectoris barbara</i>	17	1,00
<i>Columba palumbus</i>	7	0,41
<i>Columba oenas</i>	6	0,35
<i>Columba livia</i>	308	18,12
<i>Alcedo atthis</i>	2	0,12
<i>Merops apiaster</i>	7	0,41
<i>Dendrocopos major</i>	2	0,12
<i>Apus apus</i>	8	0,47
<i>Riparia riparia</i>	1	0,06
<i>Delichon urbica</i>	38	2,24
<i>Hirundo rustica</i>	40	2,35
<i>Corvus corax</i>	15	0,88
<i>Garrulus glandarius</i>	5	0,29
<i>Galerida cristata</i>	60	3,53
<i>Alauda arvensis</i>	5	0,29
<i>Emberiza calandra</i>	3	0,18
<i>Motacilla alba</i>	3	0,18
<i>Parus major</i>	13	0,76
<i>Parus caeruleus</i>	1	0,06
<i>Regulus ignicapillus</i>	5	0,29
<i>Turdus merula</i>	8	0,47
<i>Monticola solitarius</i>	2	0,12
<i>Erithacus rubecula</i>	6	0,35
<i>Sylvia melanocephala</i>	25	1,47
<i>Sylvia undata</i>	2	0,12
<i>Sylvia communis</i>	2	0,12
<i>Hypolais pallida</i>	9	0,53
<i>Hypolais polyglota</i>	2	0,12
<i>Cisticola juncidis</i>	1	0,06
<i>Cettia cetti</i>	5	0,29
<i>Ficedula hypoleuca</i>	6	0,35
<i>Saxicola torquata</i>	10	0,59
<i>Oenanthe hispanica</i>	4	0,24
<i>Oenanthe oenanthe</i>	1	0,06
<i>Fringilla coelebs</i>	6	0,35
<i>Serinus serinus</i>	1	0,06
<i>Carduelis Carduelis</i>	17	1,00
<i>Passer domesticus</i>	150	8,82
<i>Petronia petronia</i>	7	0,41
<i>Pycnonotus barbatus</i>	16	0,90

Tabla 2. Composición y abundancias específicas de la comunidad ornítica.

un índice de diversidad de 3,69 bits, una equitabilidad media (0,65), y un índice de dominancia medio (47,77 %).

Las dos especies dominantes en la comunidad son *Columba livia* y *Bubulcus ibis*, ambas con abundancias superiores a las 10 aves/km, 18,12 aves/km. y 10,71 aves/km. respectivamente. La tercera especie más abundante es *Passer domesticus* (8,82 aves/km.) y la mayoría del resto de las especies presentan abundancias relativas muy bajas, inferiores a 1 ave/km. La alta abundancia de estas tres especies se debe a que presentan distribuciones contagiosas en los datos de censo, como consecuencia de su alta tendencia social al gregarismo, formando bandos con bastante número de individuos. *Galerida cristata* es la cuarta especie de mayor abundancia (3,53 aves/km.) y presenta un escaso gregarismo (79 % de los contactos de la especie con 1 ó 2 individuos).

La equitabilidad o uniformidad representa el componente de la diversidad que no depende tanto del número de especies, sino de la distribución de los individuos entre ellas. Su valor medio es debido a una influencia destacable del importante número de especies con abundancia baja, que aumentan desproporcionadamente la riqueza con respecto a la abundancia, y producen un descenso de la equitabilidad.

### Análisis de la Comunidad Ornítica por Itinerarios Homogéneos y Heterogéneos

La tabla 3 muestra los descriptores de la comunidad ornítica por itinerarios agrupados en homogéneos y heterogéneos. De los itinerarios homogéneos, el realizado en el medio urbano (I3) presenta las mayores abundancia, equitabilidad y dominancia, y los menores valores de riqueza y diversidad específicas. La mayor riqueza y diversidad aparecen en el corredor de vegetación riparia (I17), y como era esperable presenta el menor índice de dominancia, y además la segunda menor equitabilidad y la segunda abundancia más alta. La menor equitabilidad aparece en el itinerario de huerta tradicional (I4) con una abundancia todavía alta y la segunda riqueza más elevada.

*Erithacus rubecula* es la especie claramente dominante en el alcornocal (I1), *Regulus ignicapillus* lo es en el pinar de *Pinus radiata* (I2), *Carduelis carduelis* lo es en el de *Pinus halepensis* (I14), *Bubulcus ibis* lo es en la huerta tradicional irrigada (I4) y en la vegetación riparia (I17), *Sylvia melanocephala* lo es en el olivar (I6), *Columba livia* lo es en el cereal (I5) y *Passer domesticus* lo es en el medio urbano (I18).

En los itinerarios heterogéneos, la abundancia más elevada y el índice de dominancia más alto, junto con las menores diversidad y equitabilidad, pero con una riqueza media, se presentan en un itinerario con manchas (*patches*) de cereal y de olivar (I10). Esta alta abundancia es

Itinerarios	IKA	Riqueza	Diversidad	Equitabilidad	Dominancia
I1	13,0	8	2,66	a0,89	53,85
I2	12,0	7	2,45	0,87	58,33
I3	163,0	3	1,46	0,91	77,30
I4	70,0	10	2,44	0,73	64,28
I5	22,0	6	2,21	0,85	63,64
I6	13,0	4	1,74	0,87	76,92
I14	26,0	6	2,22	0,86	61,54
I17	72,0	18	3,44	0,82	43,06
Media	48,88	7,75	2,33	0,85	62,37
Heterogéneos:					
I7	55,0	7	2,78	0,75	54,55
I8	13,0	4	1,83	0,94	69,23
I9	18,0	3	1,22	0,77	88,89
I10	356,0	6	0,93	0,36	91,85
I11	18,0	5	1,52	0,65	83,33
I12	20,0	5	2,01	0,87	70,00
I13	47,0	11	3,04	0,88	42,55
I15	15,0	6	2,42	0,94	53,33
I16	116,0	8	1,94	0,65	76,72
Media	73,11	6,11	1,97	0,76	70,05

Tabla 3. Descriptores de la comunidad ornítica por itinerarios homogéneos y heterogéneos.

determinada por la alta dominancia de *Columba livia*, que forma bandos con alto número de individuos. Las mayores riqueza y diversidad, y por lo tanto menor dominancia, aparecen en un itinerario con huerta tradicional, cereal y olivar (I13).

*Petronia petronia* es la especie claramente dominante en la zona de cereal, matorral bajo y huerta tradicional (I7), *Alectoris barbara* lo es en la de matorral, cereal y acantilado rocoso (I9), *Galerida cristata* lo es en las áreas de cereal, olivar, matorral bajo y/o huerta tradicional (I11, I13), y *Bubulcus ibis* lo es en la de pastizal y huertas de embalse (I16). *Parus major* y *Carduelis carduelis* son dominantes en la zona de Pinar de *Pinus radiata*, matorral alto y olivar (I15), *Alauda arvensis* y *Bubulcus ibis* lo son en la de matorral (alto y bajo) y cereal (I8), y *Apus apus* y *Hirundo rustica* lo son en la de alcornocal, matorral alto y pastizal (I12).

Los valores medios de estos descriptores orníticos han sido calculados para los itinerarios homogéneos y para los heterogéneos (ver tabla 3). Las diferencias entre ambos tipos de itinerarios no son significativas en ningun-

no de los parámetros (t de Student,  $p > 0,05$ ). No obstante, la abundancia media y el índice de dominancia medio son mayores en el grupo de itinerarios heterogéneos y la riqueza, diversidad y equitabilidad medias son más altas en el grupo de los homogéneos. Este resultado es opuesto a la idea generalmente aceptada que los agroecosistemas mediterráneos heterogéneos presentan mayor riqueza y diversidad ornítica que los homogéneos. Sin embargo, también habría que considerar la tan citada hipótesis de la perturbación intermedia (HUSTON, 1994; WIENS, 1995), que postula mayores heterogeneidad espacial y diversidad biológica con niveles intermedios de perturbación.

Un análisis sencillo de la correlación de los descriptores de la comunidad ornítica con la heterogeneidad espacial horizontal del paisaje puede realizarse considerando el número de diferentes usos del territorio (FATHLER *et al.*, 1992) en cada itinerario heterogéneo (ver NUT en tabla 1). La transformación logarítmica ha sido aplicada a dicho número y a la riqueza específica para normalizar los datos. Sólo se ha obtenido correlación significativa

con la equitabilidad ( $rp = 0,821$ ,  $p < 0,01$ ) y próximo al nivel de significación ( $P=0,05$ ) con el índice de dominancia ( $rp = 0,612$ ,  $p < 0,10$ ).

La importancia de la diversidad de la estructura vertical de los tipos de vegetación en la estructura de las comunidades de aves ha sido ampliamente reconocida (MACARTHUR y MACARTHUR, 1961; KARR y ROTH, 1971; AUGUST, 1983). Un parámetro sencillo de la diversidad estructural vertical utilizado en este tipo de estudios (STREETER et al., 1983; SHORT, 1988; FLATHER et al., 1992) es el número de estratos en cada uso del territorio. Siguiendo el concepto de nicho, la comunidad de aves puede ser estructurada según la partición de los recursos entre los diferentes estratos de vegetación en función de los requerimientos de reproducción y alimentación (VERNER, 1984; SZARO, 1987). Los estratos considerados han sido suelo desnudo, herbáceo, arbustivo y arbóreo. Cuando aparecen especies que se alimentan en el medio aéreo, éste se considera como un nuevo estrato a añadir a los de vegetación. En el itinerario de río se considera la masa de agua como otro estrato (nicho) diferente. El logaritmo del número de estratos ha sido calculado para normalizar los datos.

Este descriptor de la heterogeneidad vertical (ver NEV en tabla 1) está correlacionado con la riqueza ( $rp = 0,862$ ,  $p < 0,01$ ), la diversidad ( $rp = 0,843$ ,  $p < 0,02$ ) y el índice de dominancia ( $rp = -0,747$ ,  $p < 0,05$ ) en los itinerarios homogéneos. En los itinerarios heterogéneos, la correlación sólo se aproxima al nivel de significación para la diversidad de aves ( $rp = 0,609$ ,  $p < 0,10$ ). Esta ausencia de relación es indicativa de una cierta influencia distorsionadora de la heterogeneidad horizontal, creada por el patrón espacial del mosaico de los diferentes usos del territorio. En este mismo sentido, la relación significativa obtenida en los itinerarios homogéneos nos indica que la complejidad vertical del hábitat sólo es explicativa de la variación de ciertos descriptores (riqueza y diversidad) ornítricos en

ausencia de heterogeneidad horizontal. Esta conclusión fue también obtenida por otros autores (SHORT, 1988; FLATHER et al., 1992), analizando la riqueza específica.

Para estudiar la influencia exclusiva de la heterogeneidad vertical también se pueden analizar las diferencias de los descriptores ornítricos de los itinerarios homogéneos según representen ecosistemas más maduros (mayor heterogeneidad vertical) o más degradados (menor heterogeneidad vertical). Así, se observa que los itinerarios de vegetación riparia y de alcornocal, como representativos de la vegetación con mayor complejidad de la estructura vertical (más maduros) en la zona, presentan los mayores valores de riqueza y diversidad ornítica. Si exceptuamos el medio más antropizado (urbano), los itinerarios con vegetación más degradada (cereal y olivar) presentan los valores más bajos de riqueza y diversidad de aves. El resto de parámetros ornítricos no muestran una tendencia clara.

### Análisis de la Comunidad Ornítica por Unidades del Paisaje

La tabla 4 presenta los descriptores de la comunidad ornítica en las cuatro unidades del paisaje definidas. Los mayores valores de abundancia y dominancia aparecen en la unidad de cereal, junto con los menores resultados de diversidad y equitabilidad. Los valores más altos de riqueza, diversidad y equitabilidad se presentan en la unidad de olivar. Las menores abundancia y dominancia se observan en la unidad de alcornocal y la menor riqueza en la unidad de pantano.

*Columbia livia* y *Galerida cristata* son las especies dominantes en la unidad de cereal. *Passer domesticus* y *Bubulcus ibis* son dominantes en las unidades de olivar y de pantano. *Apus apus*, y en segundo lugar *Erithacus rubecula* y *Hirundo rustica*, son dominantes en la unidad de alcornocal.

Los parámetros de la comunidad ornítica no están relacionados significativamente ( $rp$ ,  $p > 0,05$ ) con las hete-

Descriptor	Alcornocal	Olivar	Cereal	Pantano
IKA	15,0	58,0	92,8	67,0
Riqueza	16	36	22	11
Diversiad	3,60	3,69	2,07	2,41
Equitabilidad	0,90	0,71	0,46	0,70
Dominancia	31,13	48,78	74,14	66,42
NUT	4	8	5	5
NEV	4	6	4	4
NIT	3	7	5	2

Tabla 4. Descriptores de la comunidad ornítica, la estructura de los usos del territorio y los itinerarios de censo por unidades del paisaje.

rogeneidades horizontal (log n°. usos del territorio) y vertical (log n°. de estratos) presentes en las diferentes unidades del paisaje. Sin embargo, la riqueza específica presenta una alta correlación no significativa ( $r_p = 0,856$ ,  $p > 0,05$ ) con la heterogeneidad vertical, muy por encima de la presentada por los otros descriptores. La riqueza está significativamente correlacionada ( $r_p = 0,987$ ,  $p < 0,02$ ) con el número (log) de itinerarios en cada unidad, lo que indica una clara influencia del tamaño de muestra sobre el valor de este descriptor, aspecto ya destacado por NOSS (1990).

### Perspectivas Metodológicas para un Análisis Detallado de los Descriptores de la Estructura del Paisaje

La ausencia de correlaciones significativas de la riqueza y la diversidad orníticas con los parámetros de heterogeneidad vertical y horizontal en los itinerarios heterogéneos y en las unidades del paisaje definidas indica que deberán ser analizados otros descriptores del patrón espacial del paisaje, que sean más explicativos de la estructura de la comunidad de aves.

La ecología del paisaje analiza los patrones espaciales de los mosaicos de usos del territorio, como se han formado estos mosaicos y como éstos afectan a la distribución y movimiento de los componentes del ecosistema (ej. especies animales) dentro de un paisaje (URBAN *et al.*, 1987; SWANSON *et al.*, 1988; HANSON *et al.*, 1995). Los sistemas de información geográfica (SIG) constituyen una poderosa herramienta tecnológica para los estudios ornitológicos (SHAW y ATKINSON, 1990) y su relación con los diferentes descriptores del patrón espacial del paisaje. Entre estos descriptores se encuentran los índices de diversidad, dominancia y contagio (O'NEILL *et al.*, 1988), la dimensión fractal (KRUMMEL *et al.*, 1987; MILNE, 1991), el número y tamaño medios de las manchas (*patches*) (FLATHER *et al.*, 1992; MCINTYRE, 1995), ver también las revisiones de FORMAN y GODRON (1986), NOSS (1990). La futura utilización de un SIG (IDRISI) con una cartografía detallada de los usos del territorio permitirá realizar el análisis de relación entre estos índices y los descriptores orníticos.

El hecho que las dos mismas especies (*Passer domesticus* y *Bubulcus ibis*) sean dominantes en las unidades de olivar y pantano y que la riqueza específica esté correlacionada positivamente con el tamaño de muestra podría llegar a cuestionar la validez de la unidad de pantano desde la perspectiva de la comunidad de aves, sobre todo si se considera que es la unidad que presenta el menor número de itinerarios (2). La utilización de métodos cuantitativos (ver TURNER y GARDNER, 1991) en la definición de las unidades del paisaje, junto con un aumento en el tamaño y distribución espacial de la muestra (itinerarios)

de esta unidad permitirá esclarecer esta cuestión, así como mejorar el conocimiento de las relaciones explicativas entre el patrón espacial del paisaje y la comunidad de aves en otras unidades.

Por último, el estudio a nivel de la ecología del paisaje está estrechamente relacionado con los problemas de escala (ver revisión de WIENS, 1995). Así, varios estudios empíricos han demostrado que los patrones en la organización de la comunidad o en la complejidad del paisaje varían con el cambio de la escala de análisis. En nuestro estudio, el análisis de los descriptores de la comunidad ornítica y de las heterogeneidades horizontal y vertical se ha realizado a dos escalas diferentes: a una escala más amplia definida por unidades del paisaje según su matriz, o a una escala más reducida considerando unidades espaciales (itinerarios) homogéneas o heterogéneas. Si comparamos los valores medios de los descriptores orníticos entre los dos escalas de análisis, sólo se detectan diferencias significativas de la riqueza específica (21,25 vs 6,88;  $t=4,38$ ,  $p < 0,001$ ) y de la diversidad ornítica (2,94 vs 2,14;  $t=2,12$ ,  $p < 0,05$ ). Sin embargo, la heterogeneidad horizontal, medida por el número de usos del territorio, no ha presentado relación significativa con los descriptores orníticos en ninguno de los dos niveles de escala, y la heterogeneidad vertical sólo ha mostrado dicha relación a la escala más fina de los itinerarios homogéneos. Similar análisis deberá realizarse utilizando otros descriptores más precisos de la heterogeneidad.

### CONCLUSIONES

Nuestro análisis simple a nivel del paisaje en relación con la estructura de la comunidad ornítica ha permitido establecer los siguientes puntos principales:

Primero, una alta abundancia de la comunidad ornítica está determinada por el fuerte gregarismo de las especies dominantes. Este aspecto social y la importancia de la heterogeneidad vertical en los itinerarios homogéneos condicionan los resultados poco esperables de los descriptores orníticos de riqueza y diversidad en la comparación entre zonas homogéneas y heterogéneas.

Segundo, las zonas con homogeneidad horizontal y representativas de ecosistemas más maduros presentan los mayores valores de riqueza y diversidad orníticas.

Tercero, la heterogeneidad vertical, medida por el número de estratos, no se muestra explicativa de la riqueza y diversidad orníticas cuando la heterogeneidad horizontal es incluida en el análisis. No obstante, el número de diferentes usos del territorio, como descriptor de este segundo tipo de heterogeneidad, tampoco se ha mostrado explicativo de estos dos parámetros orníticos, y la relación con otros descriptores ampliamente utilizados en la ecología del paisaje deberá ser analizada.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado durante una estancia de investigación aplicada dentro del proyecto MED-CAMPUS C-251 de la Unión Europea. Agradecemos a M. Senhaji por su colaboración en alguno de los censos.

## BIBLIOGRAFÍA

- AUGUST, P.V. (1983). The role of habitat complexity and heterogeneity in structuring tropical mammal communities. *Ecology*, 64: 1495-1507.
- BUNCE, R.G.H.; RYSZKOWSKI, L. & PAOLETTI, M.G. (Eds.) (1993). *Landscape ecology and agroecosystems*. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida.
- DOBROWOLSKI, K.; BANACH, A.; KOZAKIEWICZ, A. & KOZAKIEWICZ, M. (1993). Effect of habitat barriers on animal populations and communities in heterogeneous landscapes. In: *Landscape ecology and agroecosystems*, Bunce, R.G.H.; Ryszkowski, L. & Paoletti, M.G. (Eds.). Lewis Publishers, Florida. pp. 61-70.
- FARINA, A. (1986). Le comunita' di uccelli come indicatori ecologici. *Atti III Conv. Orn.*, Salice, Terme, 1984: 185-190.
- FARINA, A. (1990). Rapporto tra l'ecologia del paesaggio e le altre teorie ecologiche. *Econ. Mont. Linea Ecol.*, 22(4): 27-39.
- FARINA, A. & MESCHINI, E. (1986). The Tuscany breeding bird survey and the use of bird habitat description. *Proc. IX Int. Conf. Bird Census and Atlas Work*, Dijon, 1985. *Acta Ecol. Oecol. Gen.*, 8: 145-155.
- FLATHER, C.H.; BRADY, S.J. & INKLEY, D.B. (1992). Regional habitat appraisals of wildlife communities: a landscape-level evaluation of a resource planning model using avian distribution data. *Landscape Ecology*, 7(2): 137-147.
- FERRY, C. & FROCHOT, B. (1958). Une méthode pour dénombrer les oiseaux nicheurs. *La Terre et la Vie*, 12: 85-102.
- FORMAN, R.T.T. & GODRON, M. (1986). *Landscape ecology*. John Wiley & Sons. New York.
- GERELL, R. (1988). Faunal diversity and vegetation structure of some deciduous forest in South Sweden. *Holarc. Ecol.*, 11: 87-95.
- HANSSON, L.; FAHRIG, L. & MERRIAM, G. (Eds.) (1995). *Mosaic landscapes and ecological processes*. Chapman & Hall. London.
- HUSTON, M.A. (1994). *Biological diversity: the coexistence of species*. Cambridge University Press. Cambridge.
- KARR, J.R. & ROTH, R.R. (1971). Vegetation structure and avian diversity in several new world areas. *Am. Nat.*, 105: 423-435.
- KOTLIAR, N.B. & WIENS, J.A. (1990). Multiple scales of patchiness and patch structure: a hierarchical framework for the study of heterogeneity. *Oikos*, 59: 253-260.
- KRUMMEL, J.R.; GARDNER, R.H.; SUGIHARA, G.; O'NEILL, R.V. & COLEMAN, P.R. (1987). Landscape pattern in a disturbed environment. *Oikos*, 48: 321-324.
- MACARTHUR, R.H. & MACARTHUR, J.W. (1961). On birds species diversity. *Ecology*, 42: 594-598.
- MACARTHUR, R.H.; MACARTHUR, J.W. & PREER, J. (1962). On bird species diversity II. Prediction of bird census from habitat measurements. *Am. Nat.*, 96: 167-174.
- MCINTYRE, N.E. (1995). Effects of forest patch size on avian diversity. *Landscape Ecology*, 10(2): 85-99.
- MACNAUGHTON, S.J. & WOLF, L.L. (1970). Dominance and the niche in ecological systems. *Science*, 167: 131-139.
- MILNE, B.T. (1991). Lessons from applying fractals models to landscapes patterns. In: *Quantitative methods in landscape ecology*. Turner, M.G. & Gardner, R.H. (Eds.). Springer Verlag. New York. pp. 199-235.
- NOSS, R.F. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4(4): 355-364.
- O'NEILL, R.V.; KRUMMEL, J.R.; GARDNER, R.H.; SUGIHARA, G.; JACKSON, B.; DEANGELIS, D.L.; MILNE, B.T.; TURNER, M.G.; ZYMUNT, B.; CHRISTENSEN, S.W.; DALE, V.H. & GRAHAM, R.L. (1988). Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1: 153-162.
- PIELOU, E.C. (1975). *Ecological diversity*. John Wiley & Sons. New York.
- SAW, D.M. & ATKINSON, S.F. (1990). An introduction to the use of geographic information systems for ornithological research. *Condor*, 92: 564-570.
- SHANNON, C.E. & WEAVER, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press. Urbana.
- SHORT, H.L. (1988). A habitat structure model for natural resource management. *J. Environ. Manage.*, 27: 289-305.
- STREETER, R.G.; CHALK, D.E.; THOMAS, C.H. & KROHN, W.B. (1983). National appraisal for wildlife habitat-from inventory to management. In: *Renewable resource inventories for monitoring changes and trends*. Bell, J.F. & Atterbury (Eds.). Oregon State University. Corvallis, Oregon. pp. 674-677.
- SWANSON, F.J.; KRATZ, T.K.; CAINE, N. & WOODMANSEE, R.G. (1988). Landforms effects on ecosystem pattern and process. *BioScience*, 38: 92-98.
- SZARO, R.C. (1987). Guild management: an evaluation of avian guilds as a predictive tool. *Environ. Manage.*, 10: 681-688.
- TAIQUI, L. (1997). La dégradation écologique au Rif marocain: nécessités d'une nouvelle approche. *Mediterranea* 16: 5-17.
- TELLERIA, J.L. (1986). *Manual para el censo de los vertebrados terrestres*. Ed. Raíces. Madrid.
- TURNER, M.G. & GARDNER, R.H. (Eds.) (1991). *Quantitative methods in landscape ecology*. Springer Verlag. New York.
- URBAN, D.L.; O'NEILL, R.V. & SHUGART, H.H. (1987). Landscape ecology: a hierarchical perspective can help scientist understand spatial patterns. *BioScience*, 37: 119-127.
- VERNER, J. (1984). The guild concept applied to management of bird populations. *Environ. Manage.*, 8: 1-14.
- WIENS, J.A. (1995). Landscapes mosaics and ecological theory. En: *Mosaic landscapes and ecological processes*. Hansson, L.; Fahrig, L. & Merriam, G. (Eds.). Chapman & Hall. London. pp. 1-26.
- WIENS, J.A.; ROTENBERRY, J.T. & VAN HORNE, B. (1987). Habitat occupancy patterns of North-American shrub-steppe birds: the effects of spatial scale. *Oikos*, 48: 132-147.